昆虫学报 *Acta Entomologica Sinica*, December 2016, 59(12): 1348 - 1353　　doi:10.16380/j.kcxb.2016.12.008

丁香酸可增强 LdNPV 对舞毒蛾致死及亚致死作用

张波波[1]，邵东华[1]，冯淑军[2]，策仁尼玛[1,3]，段立清[1,2,*]

(1. 内蒙古农业大学林学院，呼和浩特 010019；2. 内蒙古农业大学农学院，呼和浩特 010019；
3. "Monchemo" LLC Research Institute, Ulaanbaatar 15141, Mongolia)

摘要：【目的】研究丁香酸(syringic acid, SY)对舞毒蛾核型多角体病毒(LdNPV)致死及亚致死作用的影响,为舞毒蛾 *Lymantria dispar* L. 的防治提供科学依据。【方法】采用食料给毒法进行生物测定,评估 LdNPV 及 SY 与 LdNPV 共同对舞毒蛾2龄幼虫的致死和亚致死作用。【结果】取食添加丁香酸人工饲料和正常人工饲料的舞毒蛾幼虫 LdNPV 致死中浓度(LC_{50})分别为 91.1 OBs/μL 和 194.8 OBs/μL。当 LdNPV 浓度为 2 400 OBs/μL,取食添加 SY 的饲料及正常人工饲料的舞毒蛾幼虫 LdNPV 致死中时间(LT_{50})分别为 9.3 d 和 10.1 d,当 LdNPV 浓度为 24 000 OBs/μL 时,其 LT_{50} 分别为 7.8 d 和 8.1 d,LdNPV 的浓度越高致死中时间越短。丁香酸增加了 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致病力,降低了 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致死中浓度,缩短了致死中时间。LdNPV 对取食正常饲料的雌、雄幼虫历期和蛹期及雌蛾寿命影响不显著，但显著缩短了雄虫寿命,降低了平均每雌产卵量。LdNPV 对取食添加丁香酸饲料的幼虫产生明显的亚致死效应,并且 LdNPV 浓度高于 240 OBs/μL 时雌、雄幼虫历期延长、雄蛾寿命缩短,雄性羽化率降低,雌成虫产卵量降低,产卵量较对照减少一半左右。【结论】结果提示,丁香酸可提高 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致病力,增加 LdNPV 对舞毒蛾的亚致死作用。

关键词：舞毒蛾；LdNPV；丁香酸；致病力；亚致死作用

中图分类号：Q965.8　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2016)12-1348-06

Syringic acid enhances the lethal and sublethal effects of LdNPV against the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae)

ZHANG Bo-Bo[1], SHAO Dong-Hua[1], FENG Shu-Jun[2], MYAGMAR Tserennyam[1,3], DUAN Li-Qing[1,2,*]
(1. Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Agricultural College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 3. "Monchemo" LLC Research Institute, Ulaanbaatar 15141, Mongolia)

Abstract:【Aim】This study aims to evaluate the effects of syringic acid on the lethal and sublethal effects of *Lymantria dispar* nucleopolyhedrovirus (LdNPV) against larvae of the gypsy moth, *L. dispar*, so as to provide a scientific basis for the prevention and control of this insect pest.【Methods】Diet plus was used to assess the lethal and sublethal effects of LdNPV with and without syringic acid on the 2nd instar larvae of *L. dispar*.【Results】The median lethal concentration (LC_{50}) values of LdNPV to the 2nd instar larvae of *L. dispar* fed on the artificial diets with and without syringic acid were 91.1 OBs/μL and 194.8 OBs/μL, respectively. The median lethal time (LT_{50}) values of LdNPV at the concentration of 2 400 OBs/μL to the 2nd instar larvae fed on the artificial diets with and without syringic acid were 9.3 and 10.1 d, respectively. The median lethal time (LT_{50}) values of LdNPV at the concentration of 24 000 OBs/μL

基金项目：国家自然科学基金项目(31160161)；林业公益性行业科研专项项目(201504302)
作者简介：张波波，男，1989年2月生，山西大同人，硕士研究生，研究方向为森林害虫生物防治，E-mail：zhangbobo17@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：duanlq2013@163.com
收稿日期 Received：2016-08-22；接受日期 Accepted：2016-11-18

to the 2nd instar larvae fed on the artificial diets with and without syringic acid were 7.8 and 8.1 d, respectively. The higher the concentration of LdNPV, the lower the LT_{50} value. Syringic acid added in the artificial diet enhanced the lethal effects of LdNPV against *L. dispar* larvae, and caused the lower LC_{50} and LT_{50} values of LdNPV against *L. dispar* larvae as compared with the diet without syringic acid. When the larvae were fed the artificial diet, the sublethal effects of LdNPV on larval duration, pupal duration and female adult longevity were not significant; when the LdNPV concentration was higher than 240 OBs/μL, however, the male adult longevity was shortened and the number of eggs laid per female was less than those of the control. The sublethal effects of LdNPV on *L. dispar* larvae fed on the artificial diet with syringic acid and high concentration of LdNPV were significant: the female and male larval duration was prolonged, the male adult longevity was shortened, and the male adult emergence rate and the number of eggs laid per female reduced. 【Conclusion】The results suggest that syringic acid can enhance the virulence of LdNPV against *L. dispar* larvae and its sublethal effects on *L. dispar*.

Key words: *Lymantria dispar*; LdNPV; syringic acid; virulence; sublethal effect

舞毒蛾核型多角体病毒（*Lymanria dispar* nucleopolyhedrovirus, LdNPV）是影响舞毒蛾种群动态的主要因子之一,常引起舞毒蛾种群数量的急剧下降,是防治舞毒蛾危害的有效方法。早在 20 世纪 60 年代初就开始利用舞毒蛾病毒进行林间防治,并取得较为理想的效果（Magnoler, 1974）。研究表明,LdNPV 流行病的发生与舞毒蛾取食食物性质有关,食物通过影响昆虫肠道内环境而影响多角体内病毒粒子的释放（Keating and Yendol, 1987）,寄主植物酚类物质会影响核型多角体病毒的毒性,如单宁酸可导致 LdNPV 的聚集而影响病毒的致病力（Keating *et al*., 1990）,绿原酸增加了 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致病力（刘海晶等, 2016）。丁香酸是植物受害后显著增加的酚性物质之一（Summers and Felton, 1994）,取食添加丁香酸后的人工饲料显著增加青杨天牛幼虫死亡率（孙守慧等, 2011）,增加舞毒蛾幼虫 LdNPV 病的死亡率,增加舞毒蛾雌蛹重量,降低雌性比、产卵量及卵受精率（王晓丽等, 2014）,但丁香酸是否影响 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致死与亚致死作用的研究尚未有报道。

一般来说,包括 LdNPV 在内的核型多角体病毒对其寄主不仅有直接的致死作用,还对寄主昆虫发育产生亚致死作用（Rothman and Myers, 1996）,而亚致死作用对于理解昆虫种群动态非常重要（Sait *et al*., 1994; Myers, 1998）。亚致死作用表现在寄主昆虫发育时间、蛹重、产卵量、卵的孵化率、成虫的寿命、雌雄性比等方面（段立清, 2002）,亚致死作用对评价病毒对害虫的防治效果非常重要（Myers, 1998; 段立清, 2002）。LdNPV 对雌性舞毒蛾幼虫影响大,雌性比显著降低（丁翠和马可, 1993）,但丁香酸对 LdNPV 的致病力及亚致死作用的影响尚未有任何报道。本实验通过在室内对舞毒蛾人工饲料中添加一定浓度的丁香酸,探讨丁香酸对 LdNPV 致病力及亚致死的影响,旨在为研制一种防治舞毒蛾的高毒力病毒制剂提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

舞毒蛾越冬卵采自辽宁省阜新市林业局。轻搓卵块取覆盖毛状物,卵粒用有效氯含量为 4.5% ~ 5.5%（w/v）的 1%84 消毒液浸泡 10 s 后,蒸馏水冲洗 3 次,阴干,放入培养皿中,于温度为 25 ± 1℃,光周期 16L∶8D 的气候培养箱孵化,初孵幼虫转入装有人工饲料的养虫杯中,在相同条件饲养至 2 龄,取同一天达到 2 龄的舞毒蛾幼虫备用。

1.2 人工饲料

舞毒蛾人工饲料参考加拿大太平洋森林研究中心（Pacific Forestry Centre, PFC）提供的配方进行配制,参考 Jocelyn 等（2000）在人工饲料中加丁香酸（syringic acid, SY）（北京酷来搏科技有限公司）,按照重量比配成丁香酸含量为 0.12%（w/w）的人工饲料。制备好的饲料 4℃冷藏备用。

1.3 舞毒蛾核型多角体病毒

由内蒙古农业大学农学院植物保护教研室保存的感染 LdNPV 的舞毒蛾死虫经蔗糖梯度提纯得到,用蒸馏水稀释到所需浓度。通过预实验设 4 个病毒浓度,分别为 24, 240, 2 400 和 24 000 OBs/μL,分别记为 V1, V2, V3 和 V4,添加丁香酸的记为 SY + V1, SY + V2, SY + V3 及 SY + V4,CK 为蒸馏水,SY

为单独丁香酸,共 10 个处理,每个处理 3 个重复,每个重复 30 ~ 50 头幼虫,共计 1 260 头幼虫。

1.4 生物测定

采用人工饲料段(Duan and Otvos, 2001)的方法,将人工饲料段(约 8 mg)置于 24 孔组织培养皿中,用微量移液器滴加病毒液 1 μL(对照滴加蒸馏水),每孔再接入 1 头饥饿 24 h 的 2 龄幼虫,封口加盖、遮光,放入气候培养箱(温度 25 ± 1℃,光周期 16L∶8D),取食 24 h,将完全食尽饲料段的幼虫转入小养虫杯内单头饲养,每天观察、记录幼虫死亡、蜕皮情况。在幼虫化蛹后第 2 天用天平(Sartorius TE612-L)称重,待成虫羽化后识别雌雄。当成虫羽化后雌雄配对放在玻璃瓶中,用纱布封口,待其交配产卵统计产卵量。实验共设置 4 个处理:正常饲料 + 蒸馏水(CK),正常饲料 + 病毒(V),SY 饲料 + 蒸馏水(SY),SY 饲料 + 病毒(SY + V)。

1.5 数据统计与分析

用 EXCEL 对取食不同病毒浓度处理的舞毒蛾幼虫死亡情况进行统计,用 POLO-PC (LeOra Software, 1994)软件计算致死中浓度 LC_{50} 及致死中时间 LT_{50},用 SPSS17.0 软件进行单因素(ANOVA)方差分析中的 Duncan 氏法检验取食丁香酸及病毒对舞毒蛾幼虫生长发育及繁殖的差异显著性。

2 结果

2.1 舞毒蛾幼虫对丁香酸及 LdNPV 浓度的响应

正常人工饲料和添加丁香酸人工饲料饲养舞毒蛾感病 2 龄幼虫死亡率如图 1,可见舞毒蛾 2 龄幼虫死亡率随着 LdNPV 浓度的增加而增加,而且同一浓度下,取食添加丁香酸的饲料的幼虫死亡率(图 1: B)较取食正常人工饲料的(图 1: A)高。另外 LdNPV 浓度的增加也影响舞毒蛾 2 龄幼虫发病速度,浓度越高,发病越快,浓度为 24 000 OBs/μL 时,不添加丁香酸和添加丁香酸时舞毒蛾幼虫均在给毒的第 6 天就开始大量死亡,第 10 – 11 天时死亡率最高,分别达到 88.67% 和 93.33%,浓度为 24 OBs/μL 时,第 9 – 10 天时开始死亡,到第 14 – 15 天时死亡率最高分别达到 32.5% 和 40.83%。没有感染病毒的幼虫取食添加丁香酸的人工饲料第 9 天也开始出现死亡个体,第 21 天时死亡率最高达到18.89%,而取食正常人工饲料的幼虫死亡率只有 1.11%。

A
蒸馏水Distilled water
24 OBs/μL LdNPV
240 OBs/μL LdNPV
2 400 OBs/μL LdNPV
24 000 OBs/μL LdNPV
死亡率 Mortality(%)
接病毒天数 Days after virus inoculation

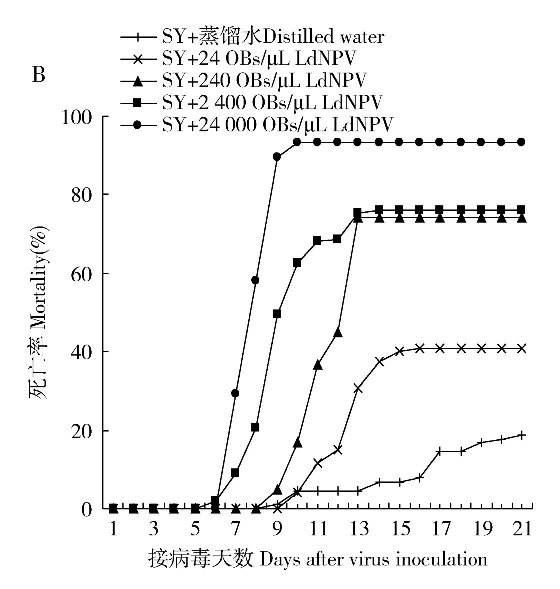


图 1 取食正常人工饲料(A)和添加丁香酸的人工饲料(B)后舞毒蛾幼虫的死亡动态

Fig. 1 Mortality dynamics of *Lymantria dispar* larvae after fed on the normal artificial diet (A) and the artificial diet with syringic acid (B)

SY: 丁香酸 Syringic acid.

2.2 丁香酸对 LdNPV 致病力的影响

病原物对不同昆虫的致病力表现在致死中浓度(LC_{50})及致死中时间(LT_{50})的差异上,对取食添加丁香酸的人工饲料和正常人工饲料的舞毒蛾幼虫 LdNPV 的 LC_{50} 及 LT_{50} 见表 1 和 2。幼虫取食添加丁香酸的人工饲料时,LdNPV 的 LC_{50} 为 91.1 OBs/μL,95% 的置信区间为 44.0 ~ 160.7 OBs/μL,而幼虫取食正常人工饲料时,LdNPV 的 LC_{50} 为 194.8 OBs/μL,95% 的置信区间为 103.9 ~ 327.9 OBs/μL。Ebling 等(2004)根据病原物致死中浓度的置信区间

重叠度分析其致病力差异,重叠度越小差异越显著,重叠度大于 50% 就没有差异。单独 LdNPV 和添加丁香酸的 LdNPV LC_{50} 及 LC_{90} 的 95% 的置信区间重叠度均小于 50%,说明二者之间差异显著。

表 1　丁香酸(SY)对 LdNPV 对舞毒蛾 2 龄幼虫致死中浓度的影响

Table 1　Effects of syringic acid (SY) on the LC_{50} value of LdNPV to the 2nd instar larvae of *Lymantria dispar*

处理 Treatment	斜率 ± *SE* Slope ± *SE*	LC_{50}(95% 置信限) LC_{50}(95% confidence limit) (OBs/μL)	LC_{90}(95% 置信限) LC_{90}(95% confidence limit) (OBs/μL)	卡方 χ^2	自由度 *df*
SY + LdNPV	0.557 ± 0.058	91.1(44.0 – 160.7)	18 202.3(8 578.6 – 52 403.5)	3.1	10
LdNPV	0.556 ± 0.056	194.8(103.9 – 327.9)	39 670.0(17 674.4 – 124 061.7)	1.3	10

SY + LdNPV：LdNPV 病毒处理的含丁香酸的饲料 Artificial diets containing syringic acid mixed with LdNPV；LdNPV：单独 LdNPV 病毒处理的正常饲料 Normal artificial diets mixed with LdNPV. 表 2 同 The same for Table 2.

LT_{50} 与 LdNPV 的浓度有关,当病毒浓度为2 400 OBs/μL,添加丁香酸的饲料对舞毒蛾幼虫的 LT_{50} 为 9.3 d,没有添加丁香酸的对舞毒蛾幼虫 LT_{50} 为 10.1 d,二者之间相差 1 d 左右,LT_{90} 分别为 13.4 d 和 15.0 d,LT_{90} 相差 2 d 左右;当病毒浓度为 24 000 OBs/μL,添加和不添加丁香酸的饲料对舞毒蛾幼虫的 LT_{50} 差异减小,前者为 7.8 d,后者为 8.1 d,丁香酸增加了 LdNPV 的发病速度。

表 2　丁香酸(SY)对 LdNPV 对舞毒蛾 2 龄幼虫致死中时间的影响

Table 2　Effects of syringic acid (SY) on the LT_{50} value of LdNPV to the 2nd instar larvae of *Lymantria dispar*

LdNPV 浓度 LdNPV concentration (OBs/μL)	处理 Treatment	死亡率 Mortality(%)	斜率 ± *SE* Slope ± *SE*	LT_{50}(95% 置信限 Confidence limit) (d)	LT_{90}(95% 置信限 Confidence limit) (d)	χ^2
2 400	SY + LdNPV	76.0	7.9 ± 0.4	9.3(9.0 – 9.5)	13.4(12.8 – 14.2)	62
	LdNPV	72.0	7.4 ± 0.3	10.1(9.8 – 10.4)	15.0(14.2 – 16.0)	30
24 000	SY + LdNPV	93.3	16.5 ± 0.9	7.8(7.6 – 7.9)	9.3(9.1 – 9.5)	20
	LdNPV	88.7	12.4 ± 0.6	8.1(7.9 – 8.2)	10.2(9.9 – 10.7)	54

2.3　丁香酸及 LdNPV 对舞毒蛾的亚致死作用的影响

2.3.1　对发育历期的影响：由表 3 可以看出,与对照相比,丁香酸使雌、雄幼虫历期缩短($P < 0.05$);单独 LdNPV 对雌、雄幼虫历期和蛹期及雌蛾寿命影响不显著,但高浓度下雄蛾寿命显著缩短($P < 0.01$)。添加丁香酸并且 LdNPV 浓度较高时使雌、雄幼虫历期延长,雌、雄蛾寿命缩短($P < 0.05$),当 LdNPV 浓度为 2 400 OBs/μL 时雄蛾寿命较对照缩短 3 d 左右($P < 0.01$)。

表 3　丁香酸(SY)及 LdNPV 对舞毒蛾发育历期的影响

Table 3　Effects of syringic acid (SY) and LdNPV on the developmental duration of *Lymantria dispar*

处理 Treatment	雄性幸存者(头) Number of male survivors	雄性发育历期(d) Developmental duration of males			雌性幸存者(头) Number of female survivors	雌性发育历期(d) Developmental duration of females		
		幼虫 Larva	蛹 Pupa	成虫 Adult		幼虫 Larva	蛹 Pupa	成虫 Adult
CK	53	31.3 ± 1.3 bc	11.6 ± 0.9 bc	8.6 ± 2.5 a	36	30.8 ± 1.2 c	11.9 ± 0.9 a	8.0 ± 3.2 ab
V1	49	30.6 ± 1.1 c	11.0 ± 1.6 c	7.2 ± 2.7 abc	32	30.7 ± 1.1 c	11.7 ± 1.1 ab	7.0 ± 2.2 bc
V2	33	30.9 ± 1.0 bc	11.3 ± 1.3 bc	6.3 ± 2.3 cd	25	31.2 ± 0.9 c	11.7 ± 1.1 ab	7.5 ± 1.5 bc
V3	25	31.8 ± 1.8 b	11.9 ± 1.2 b	5.6 ± 1.4 d	17	31.5 ± 1.5 c	12.2 ± 1.1 a	7.7 ± 1.9 abc
SY	44	29.4 ± 1.7 d	11.7 ± 1.1 bc	8.3 ± 2.0 ab	29	29.2 ± 1.8 d	11.7 ± 1.1 ab	9.4 ± 2.2 a
SY + V1	40	30.9 ± 1.2 c	10.9 ± 1.5 c	8.1 ± 2.2 ab	31	31.1 ± 1.0 c	10.8 ± 1.6 b	7.8 ± 1.5 abc
SY + V2	29	30.7 ± 1.3 c	11.8 ± 1.1 bc	5.9 ± 1.5 cd	22	31.3 ± 1.0 c	11.6 ± 1.1 ab	8.3 ± 1.7 ab
SY + V3	21	32.8 ± 0.9 a	11.9 ± 1.0 b	5.8 ± 1.5 cd	15	32.7 ± 0.7 b	12.0 ± 1.4 a	7.5 ± 1.7 bc

CK：蒸馏水 Distilled water；SY：丁香酸 Syringic acid；V1：24 OBs/μL LdNPV；V2：240 OBs/μL LdNPV；V3：2 400 OBs/μL LdNPV. 表中数值为平均值 ± 标准差,同列数值标有不同小写字母表示差异显著 $P < 0.05$(Duncan 氏新复极差法检验)。The values in the table are mean ± *SD*, and different letters following the data in a column indicate significant difference among the treatments at the 0.05 level (Duncan's multiple range test). 表 4 同 The same for Table 4.

2.3.2 对舞毒蛾蛹重、羽化率、性比及产卵量的影响：由表 4 可知，与对照相比，丁香酸显著增加了雌性蛹重，降低了雄性羽化率，减少了产卵量($P < 0.05$)。单独 LdNPV 对雄性蛹重、性比及雌性羽化率的影响不显著($P > 0.05$)，但显著降低了雄性羽化率及单雌产卵量($P < 0.05$)；添加丁香酸的 LdNPV 对舞毒蛾雌蛹的影响比较复杂，LdNPV 较低时雌蛹重较对照显著增加，但 LdNPV 较高时蛹重与对照无差异；不论 LdNPV 浓度高低，添加丁香酸的 LdNPV 均降低雄性羽化率，减少单雌产卵量($P < 0.05$)，影响程度有随 LdNPV 浓度的增加而愈加显著的趋势，高浓度 LdNPV 下对雌成虫产卵量的影响最大，产卵量较对照减少一半多。

表 4 丁香酸(SY)及 LdNPV 对舞毒蛾蛹重及成虫繁殖力的影响

Table 4 Effects of syringic acid (SY) and LdNPV on the pupal weight and adult fecundity of *Lymantria dispar*

处理 Treatment	蛹重 Pupal weight (g) 雌性 Female	雄性 Male	羽化率 Emergence rate (%) 雌性 Female	雄性 Male	性比(♀/♂) Sexual ratio	单雌产卵量 Number of eggs laid per female
CK	1.72 ± 0.09 cd	0.71 ± 0.09 ab	100.0 a	98.6 a	0.86 a	515.3 ± 33.6 a
V1	1.88 ± 0.12 ab	0.77 ± 0.11 a	96.6 a	93.2 ab	0.75 a	254.5 ± 110.9 b
V2	1.78 ± 0.18 bc	0.76 ± 0.12 a	96.9 a	91.7 b	0.65 a	239.9 ± 104.5 b
V3	1.63 ± 0.11 de	0.76 ± 0.11 a	96.0 a	84.9 c	0.76 a	210.7 ± 64.7 b
SY	1.99 ± 0.12 a	0.73 ± 0.09 ab	100.0 a	76.0 d	0.68 a	287.0 ± 125.7 b
SY + V1	1.93 ± 0.19 a	0.76 ± 0.14 a	96.8 a	87.5 c	0.78 a	253.9 ± 87.6 b
SY + V2	1.88 ± 0.14 ab	0.70 ± 0.08 ab	90.9 a	89.7 c	0.72 a	233.9 ± 102.6 b
SY + V3	1.72 ± 0.09 cd	0.76 ± 0.07 a	93.3 a	76.2 c	0.71 a	204.0 ± 85.4 b

3 结论与讨论

人工饲料中添加丁香酸提高了 LdNPV 对舞毒蛾幼虫的致病力，表现在致死中浓度降低和致死中时间缩短。早在 1988，Keating 等研究发现感染 LdNPV 的舞毒蛾取食橡树类叶片比取食杨树类死亡率低，栎树叶片的酚性物质含量高于杨树，表明寄主植物酚性物质含量影响舞毒蛾对其核型多角体病毒的敏感性(Keating *et al.*, 1988)。但用栎类叶片提取液混合 LdNPV，导致 LdNPV 的多角体聚集，与人工饲料一起饲喂舞毒蛾 4 龄幼虫，其毒力并未受到影响(Keating *et al.*, 1990)，而添加丁香酸后使 LdNPV 对舞毒蛾 2 龄幼虫的致病力增加，同时丁香酸对舞毒蛾幼虫也有致死性，所以，丁香酸和 LdNPV 对舞毒蛾幼虫致病力的提高是增效作用还是叠加作用有待进一步研究。Keating 等(1988)认为，酚性物质对昆虫病毒的影响可能主要取决于昆虫中肠环境，取食含有丁香酸及 LdNPV 的舞毒蛾幼虫中肠生化性质有待进一步研究。

植物的酚性物质在植物抵御植食性昆虫及病原物中起到非常重要的作用(del Campol *et al.*, 2013)。丁香酸是植物体内重要的次生性代谢酚类，当植物遭受损害或有外源信号诱导时含量增加明显，与植物抵御细菌(Santiago *et al.*, 2009)、真菌(Chong *et al.*, 2012)等病原微生物有关，也降低了植食性昆虫的生长发育(Magalha *et al.*, 2010；王晓丽等, 2014)。单独丁香酸缩短了舞毒蛾幼虫的发育历期，增加雌性蛹重，降低产卵量，这与王晓丽等(2014)的结果一致。

单独 LdNPV 及 LdNPV 与饲料中的丁香酸共同对舞毒蛾的亚致死作用比较明显，使幼虫发育历期延长，成虫寿命缩短、产卵量减少、雄性羽化率降低；LdNPV 越高，亚致死作用越明显。Myers 等(2000)测定了正常 LdNPV 及不含 *egt* 基因的 LdNPV 对舞毒蛾雌性的影响，表明二者均可导致雌蛹重量减轻、产卵量减少，并且影响的程度与温度及病毒浓度相关。丁翠和马可(1993)用 $1.3 \times 10^4 \sim 1.3 \times 10^6$ OBs/mL 测定了 LdNPV 对舞毒蛾 5 龄幼虫的亚致死作用，得出病毒对雌性幼虫的影响大于雄性，雌性幼虫死亡率高于雄性，雄性比增加。本研究结果证明，LdNPV 不仅影响雌性，而且对雄性成虫的羽化率影响显著，使雄性成虫羽化率降低、寿命缩短。添加丁香酸的 LdNPV 对舞毒蛾的亚致死作用与单独 LdNPV 的作用相似，但显著延长了幼虫的发育历期，缩短了成虫期，并且雄性羽化率及雌性产卵量最低，说明丁香酸增加了 LdNPV 对舞毒蛾的亚致死作用。Myers(1998)及 Sait 等(1994)认为，杆状病毒的亚致死作用可能是导致鳞翅目昆虫种群周期性发生的关键因子，而且亚致死作用在评价病毒对害虫控制力方面是非常重要的。

参考文献（References）

Chong KP, Atong M, Rossall S, 2012. The role of syringic acid in the interaction between oil palm and *Ganoderma boninense*, the causal agent of basal stem rot. *Plant Pathol.*, 61: 953–963.

Del Campo ML, Halitschke R, Short SM, Lazzaro BP, Kessler A, 2013. Dietary plant phenolic improves survival of bacterial infection in *Manduca sexta* caterpillars. *Entomol. Exp. Appl.*, 146: 321–331.

Ding T, Ma M, 1993. Effects of sublethal doses of NPV on larvae of gypsy moth. *Acta Entomol. Sin.*, 36(3): 272–275. [丁翠，马可，1993. 舞毒蛾核型多角体病毒亚致死剂量对舞毒蛾幼虫的影响. 昆虫学报，36(3): 272–275]

Duan L, Otvos IS, 2001. Influence of larval age and virus concentration on mortality and sublethal effects of a nucleopolyhedrovirus on the western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.*, 30: 136–146.

Duan LQ, 2002. Sublethal effect of insect virus on Lepidoptera defoliators. *Forest Pest and Disease*, 21(3): 33-35. [段立清，2002. 昆虫病毒对鳞翅目食叶害虫的亚致死作用. 中国森林病虫，21(3): 33–35]

Ebling PM, Otvos IS, Conder N, 2004. Comparative activity of three isolates of LdMNPV against two strains of *Lymantria dispar*. *Can. Entomol.*, 136: 737–747.

Ginzburg LR, Taneyhill DE, 1994. Population cycles of forest Lepidoptera: a maternal effect hypothesis. *J. Anim. Ecol.*, 63: 79–92.

Jocelyn DCH, Lindrothe RL, 2000. Effects of phenolic glycosides and protein on gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) and forest tent caterpillar (Lepidoptera: Lasiocampidae) performance and detoxication activities. *Physiol. Chem. Ecol.*, 29(6): 1108–1115.

Keating ST, Hunter MD, Schultz JC, 1990. Leaf phenolic inhibition of gypsy moth nuclear polyhedrosis virus – Role of polyhedral inclusion body aggregation. *J. Chem. Ecol.*, 16(5): 1445–1457.

Keating ST, Yendol WG, 1987. Influence of selected host plants on gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) larval mortality caused by a baculovirus. *Environ. Entomol.*, 16(2): 459–462.

Keating ST, Yendol WG, Schultz JC, 1988. Relationship between susceptibility of gypsy moth larvae (Lepidoptera: Lymantriidae) to a baculovirus and host plant foliage constituents. *Environ. Entomol.*, 17(6): 952–958.

LeOra Software, 1994. POLO-PC: A User's Guide to Probit or Logit Analysis. LeOra Software, Berkeley, California.

Liu HJ, Duan LQ, Li HP, Feng SJ, Zhang BB, 2016. Chlorogenic acid enhances the virulence of *Lymantria dispar* necleopolyhydrovirus (LdNPV). *Acta Entomol. Sin.*, 59(5): 568–572. [刘海晶，段立清，李海平，冯淑军，张波波，2016. 绿原酸提高舞毒蛾核型多角体病毒(LdNPV)的致病力. 昆虫学报，59(5): 568–572]

Magalhães ST, Fernandes FL, Demuner AJ, Picanço MC, Guedes RN, 2010. Leaf alkaloids, phenolics, and coffee resistance to the leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *J. Econ. Entomol.*, 103(4): 1438–1443.

Magnoler, 1974. Bioassay of a nucleopoly hedrosis virus of the gypsy moth, *Porthetria dispar*. *J. Inverteb. Pathol.*, 23: 190–196.

Myers JH, 1998. Synchrony in outbreaks of forest Lepidoptera: a possible example of the moran effect. *Ecology*, 79(3): 1111–1117.

Myers JH, Malakar R, Cory JS, 2000. Sublethal nucleopolyhedrovirus infection effects on female pupal weight, egg mass size, and vertical transmission in gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environ. Entomol.*, 29(6): 1268–1272.

Rothman L, Myers J, 1996. Debilitating effects of viral diseases on host Lepidoptera. *J. Invertebr. Pathol.*, 67: 1–10.

Sait SM, Begon M, Thompson DJ, 1994. The effects of a sublethal baculovirus infection in the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *J. Anim. Ecol.*, 63: 541–550.

Santiago R, De Armas R, Legaz ME, Vicente C, 2009. Changes in phenolic acids content, phenylalanine ammonia-lyase and peroxidase activities in sugarcane leaves induced by elicitors isolated from *Xanthomonas albilineans*. *Australas. Plant Pathol.*, 38: 357–365.

Summers CB, Felton GW, 1994. Pro-oxidant effects of phenolic acids on the generalist herbivore *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae): potential mode of action for phenolic compounds in plant anti-herbivore chemistry. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 24: 943–953.

Sun SH, Zheng YN, Lv CL, Zhao WH, Li W, Li CX, 2011. The relationship between poplar secondary metabolism and enzyme activity of *Saperda populnea*. *J. For. Sci.*, 47(8): 108–114. [孙守慧，郑雅楠，吕长利，赵伟浩，李威，李从心，2011. 杨树次生代谢物质与青杨天牛酶活性的关系. 林业科学，47(8): 108–114]

Wang XL, Wang YT, Duan LQ, Li HP, Feng SJ, 2014. Effects of four plant phenolics on the growth and development and fecundity of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae). *Acta Entomol. Sin.*, 57(7): 831–836. [王晓丽，王予彤，段立清，李海平，冯淑军，2014. 四种植物酚类物质对舞毒蛾生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报，57(7): 831–836]

（责任编辑：赵利辉）